สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
ไขมันและน้ำมัน	4
สบู่ดำ	7
ไบโอดีเซล	14
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	29
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
อุปกรณ์และวิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	47
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน	76
ภาคผนวก ข การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลได้ (Yield)	77
ภาคผนวก ค การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME)	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง การคำนวณหาค่าความเป็นกรด (Acid Value)	81
ภาคผนวก จ ลักษณะโครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ	5
2	ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	6
3	ปริมาณน้ำมันสบู่ดำที่สกัดโดยใช้กรรมวิธีที่ต่างกัน	12
4	ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ	13
5	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล	15
6	ข้อกำหนดคุณสมบัติของไบโอดีเซลและวิธีการตรวจสอบ	18
7	การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอมไซม์	27
8	ตัวแปรและระดับค่าของตัวแปรของการออกแบบแบบ Box – Behnken	43
9	ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken โดยใช้โปรแกรม MINITAB	44
10	ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลได้	48
11	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	49
12	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	50
13	ความแปรปรวนของแบบจำลอง	53
14	วิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองเพื่อคำนวณหาค่าตัวสถิติ F_0	54
15	วิเคราะห์ความแปรปรวนของความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อคำนวณหาค่า F_0	56
16	คุณสมบัติของไบโอดีเซล	65
17	ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์	4
2	ประโยชน์ของสบู่ดำ	10
3	เครื่องน้ำมัน Hydraulic Press	12
4	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป	16
5	กระบวนการแตกสลายทางความร้อน	21
6	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	22
7	ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี	22
8	กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์	24
9	ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)	25
10	ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน	26
11	การผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำแบบ Pilot Plant และผลพลอยได้จากกระบวนการ	28
12	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาการทำปฏิกิริยาต่อ %FAME ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 และปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	57
13	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาต่อ %FAME ที่เวลาการทำปฏิกิริยา 90 นาที และปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	58
14	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาต่อ %FAME ที่เวลาการทำปฏิกิริยาเป็น 90 นาที และ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันและเวลาการทำปฏิกิริยาต่อ %FAME ที่ อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส และ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	60
16	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาการทำปฏิกิริยาต่อ %FAME ที่อุณหภูมิการทำ ปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส และ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1	61
17	Surface Plot (ก) และ Contour Plot (ข) แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ %FAME ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส และ เวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค1	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารตัวอย่าง	79
จ1	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	82
จ2	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	83
จ3	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	84
จ4	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	85
จ5	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	86
จ6	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ7	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	88
จ8	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	89
จ9	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	90
จ10	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	91
จ11	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	92
จ12	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ13	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	94
จ14	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	95
จ15	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	96
จ16	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	97
จ17	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	98
จ18	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ19	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	100
จ20	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	101
จ21	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	102
จ22	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	103
จ23	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	104
จ24	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ25	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 3:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	106
จ26	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	107
จ27	โครมาโตรแกรมของสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 9:1 และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	108